

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-255062

(P2000-255062A)

(43) 公開日 平成12年9月19日 (2000.9.19)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト* (参考)
B 4 1 J	2/045	B 4 1 J	3/04
	2/055		1 0 3 A
	2/205		2 C 0 5 7
			1 0 3 X

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平11-64682

(22) 出願日 平成11年3月11日 (1999.3.11)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 奥田 真一

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100079164

弁理士 高橋 勇

Fターム (参考) 2C057 AF08 AF22 AF39 AF41 AF42

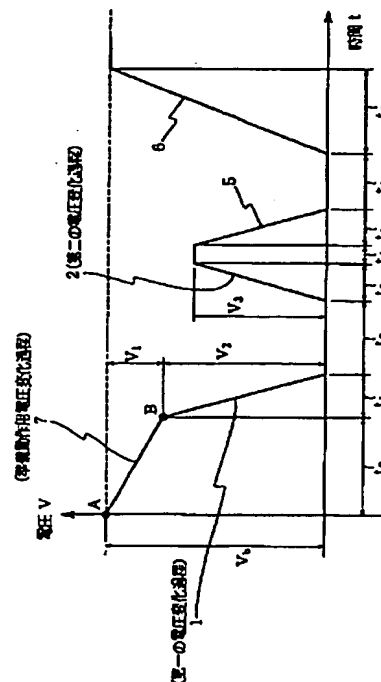
AC44 AR07 AR08 BA04 BA14

(54) 【発明の名称】 インクジェット記録ヘッドの駆動方法及びインクジェット記録装置

(57) 【要約】

【課題】 初期メニスカス形状の異常によるインク滴の滴径・滴速の変動を抑制し、安定した吐出を可能とすることによって高画質記録を実現すること。

【解決手段】 圧電アクチュエータ105に印加する駆動波形は、圧力発生室100の体積をゆっくりと膨張させる準備動作電圧変化過程7、圧力発生室100の体積を急激に膨張させる第一の電圧変化過程1、および圧力発生室100の体積を急激に収縮させる第二の電圧変化過程2を有する。初期 ($t=0$) のメニスカス形状が凸形状となっても、準備動作電圧変化過程7の作用によってメニスカス3がゆっくりと圧力発生室100側に引き込まれるため、第一の電圧変化プロセス1が印加される時点 ($t=t_8$) では、メニスカス3は必ずノズル101の開口面のごく近傍、またはノズル101の内部にわずかに引き込まれた状態となる。これにより、凸形状のメニスカス3が原因となって生じる異常な吐出現象が防止され、安定した微小滴吐出が可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 圧力発生室内の圧力を変化させる電気機械変換器に駆動電圧を印加して、インクが充填された圧力発生室内に圧力変化を生じさせることによって、前記圧力発生室に連絡したノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドの駆動方法であって、前記駆動電圧の電圧波形が、前記圧力発生室の体積を増加させて前記ノズルのノズル開口部に貯溜されたインク滴を前記圧力発生室側に引き込むための第一の電圧変化過程と、前記圧力発生室の体積を減少させてインク滴の吐出を行うための第二の電圧変化過程とを有し、前記第一の電圧変化過程の前に、前記ノズル開口部に貯溜されたインク滴を前記圧力発生室側にわずかに引き込むための準備動作電圧変化過程を備えていることを特徴とするインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項 2】 前記準備動作電圧変化過程が、前記圧力発生室の体積を増加させるための電圧変化過程を有し、この電圧変化過程の電圧変化速度を、前記第一の電圧変化過程の電圧変化速度よりも小さく設定したことを特徴とする請求項 1 記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項 3】 前記圧力発生室の体積を増加させるための電圧変化過程の電圧変化時間を、前記圧力発生室内に生じる圧力波の固有周期よりも大きく設定したことを特徴とする請求項 2 記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項 4】 前記準備動作電圧変化過程が、前記圧力発生室の体積を減少させるための電圧変化過程と、その後、所定期間だけ電圧を保持してインク滴を前記圧力発生室側にわずかに引き込むための電圧保持過程とを有することを特徴とする請求項 1 記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項 5】 前記圧力発生室の体積を減少させるための電圧変化過程の電圧変化時間を、前記圧力発生室内に生じる圧力波の固有周期よりも大きく設定したことを特徴とする請求項 4 記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項 6】 前記電圧保持過程の所定期間を、前記ノズル開口部に貯溜されたインク滴の振動の固有周期に対し、 $1/3$ 倍から $2/3$ 倍の範囲で設定したことを特徴とする請求項 4 または 5 記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項 7】 圧力発生室内の圧力を変化させる電気機械変換器に駆動電圧を印加し、インクが充填された圧力発生室内に圧力変化を生じさせることによって、前記圧力発生室に連絡したノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドと、前記電気機械変換器に印加する駆動電圧を発生させる一以上の波形発生手段とを備えたインクジェット記録装置であって、前記波形発生手段によって生成される駆動電圧の電圧波

形の少なくとも一つが、前記圧力発生室の体積を増加させて前記ノズルのノズル開口部に貯溜されたインク滴を前記圧力発生室側に引き込むための第一の電圧変化過程と、前記圧力発生室の体積を減少させてインク滴の吐出を行うための第二の電圧変化過程とを有し、前記第一の電圧変化過程の前に、前記ノズル開口部に貯溜されたインク滴を前記圧力発生室側にわずかに引き込むための準備動作電圧変化過程を備えていることを特徴とするインクジェット記録装置。

【請求項 8】 前記電気機械変換器が、圧電振動子によって構成されていることを特徴とする請求項 7 記載のインクジェット記録装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、インクジェット記録装置に関し、特に、ノズルから微小なインク滴を吐出して文字や画像の記録を行うインクジェット記録ヘッドの駆動方法及びその装置に関する。

【0002】

【従来の技術】圧電アクチュエータ等の電気機械変換器を用いてインクが充填された圧力発生室内に圧力波（音響波）を発生させ、その圧力波によって圧力発生室に連絡されたノズルからインク滴を吐出するドロップオンデマンド型インクジェットが一般によく知られている。この種のインクジェット記録ヘッドの駆動方法として、例えば、特公昭 53-12138 号公報等のものがある。この種のインクジェット記録ヘッドの一例を図 7 に示す。

【0003】図 7 を参照すると、圧力発生室 100 には、インクを吐出するためのノズル 101 と、共通インク室 102 を介して図示しないインクタンクからインクを導くためのインク供給路 103 が連絡されている。また、圧力発生室 100 の底面には振動板 104 が設けられている。インク滴吐出時には、圧力発生室 100 の外部に設けられた圧電アクチュエータ 105（電気機械変換器）によってこの振動板 104 を変位させ、圧力発生室 100 に体積変化を生じさせることにより、圧力発生室 100 内に圧力波を発生させる。この圧力波によって、圧力発生室 100 内に充填されていたインクの一部がノズル 101 を通って外部に噴射され、インク滴 106 となって飛翔する。飛翔したインク滴 106 は記録紙等の記録媒体上に着弾し、記録ドットを形成する。こうした記録ドットの形成を、画像データに基づいて繰り返すことによって、記録紙上に文字や画像が記録される。

【0004】この種のインクジェット記録ヘッドで高い画像品質を得るためには、吐出するインク滴 106 の径を非常に小さく設定することが必要となる。すなわち、粒状感の少ない滑らかな画像を得るには、記録紙上に形成される記録ドット（画素）をできるだけ小さくするこ

とが必要であり、そのためには吐出するインク滴の径を小さく設定しなければならない。通常、ドット径が $40\mu\text{m}$ 以下となると画像の粒状性は大幅に向上し、画像品質が飛躍的に向上する。インク滴の径とドット径の関係は、インク滴の飛翔速度（滴速）、インクの物性（粘度、表面張力）、記録紙の種類等に依存するが、通常、ドット径はインク滴の径の 2 倍程度となる。従って、 $40\mu\text{m}$ 以下のドット径を得るためには、インク滴の径を $20\mu\text{m}$ 以下に設定する必要がある。なお、以下の説明においては、滴径とは、1 回の吐出で排出されるインクの総量（図 7 の 106' に示されるようなサテライトを含む）を 1 つの球状の滴に置き換えた場合の直径を意味するものとする。

【0005】インク滴径を減少させる最も有効な手段としては、ノズル 101 の縮径化が挙げられる。しかし、製造技術的な限界、およびノズルの目詰まり等の信頼性の問題から、実際に使用できるノズル径は $25\mu\text{m}$ 程度が下限であり、ノズル径の減少のみによって $20\mu\text{m}$ レベルのインク滴を得ることは非常に困難である。そこで、記録ヘッドの駆動方法によって吐出インク滴の滴径を減少させる試みがなされ、これまでに、いくつかの有効な方法が提案されている。

【0006】インクジェット記録ヘッドで微小滴の吐出を実行するための駆動方法としては、吐出直前に圧力発生室を一旦膨張させ、ノズル開口部に貯溜されたインク滴（以下、メニスカスという）を圧力発生室側に引き込んだ状態からインク滴の吐出を行う駆動方法が例えば特開昭 55-17589 号公報等として知られている。この種の駆動方法で用いられる駆動電圧波形の一例を図 8 (a) に示す。なお、駆動電圧と圧電アクチュエータ 105 の動作との関係は、アクチュエータ 105 の構造や分極方向によって異なるが、以下の説明では、駆動電圧を増加させると圧力発生室 100 の体積が減少し、逆に駆動電圧を減少させると圧力発生室 100 の体積が増加するものとして説明する。

【0007】図 8 (a) の駆動電圧波形は、圧力発生室 100 を膨張させてノズル開口部のメニスカスを圧力発生室 100 側に引き込むための第一の電圧変化過程 1 と、次いで圧力発生室 100 を圧縮し、インク滴の吐出を行うための第二の電圧変化過程 2 によって構成されている。

【0008】図 9 は、図 8 (a) の駆動電圧波形を印加した際におけるノズル開口部のメニスカス 3 の動きを模式的に表わした図である。基準電圧を印加した初期状態においてメニスカス 3 は図 9 (a) に示す通り平坦な形状をしているが、吐出直前に第一の電圧変化過程 1 によって圧力発生室 100 を膨張させることにより、メニスカス 3 は図 9 (b) に示すような形状となる。すなわち、メニスカス 3 の中央部がメニスカス 3 の周辺部よりも大きく後退し、凹型のメニスカス 3 が形成される。こ

うして凹型のメニスカス 3 を形成した状態から、第二の電圧変化過程 2 によって圧力発生室 100 の圧縮を行うと、図 9 (c) に示すように、メニスカス 3 の中央部に細い液柱 4 が形成され、次いで、図 9 (d) のように液柱 4 の先端部が分離してインク滴 106 が形成される。このときのインク滴 106 の径は、形成された液柱 4 の太さとほぼ等しく、ノズル 101 の径よりも小さい。従って、こうした駆動方法を用いることにより、ノズル 101 の直径よりも小さなインク滴 106 を吐出することが可能となる。以下、吐出直前のメニスカス 3、即ち、ノズル開口部に貯溜されたインク滴 3 の形状を操作することによって微小滴吐出を行う駆動方法のことを「メニスカス制御方法」と呼ぶことにする。

【0009】上述のように、メニスカス制御方法を用いれば、ノズル径よりも小さな径のインク滴を吐出することが可能となる。しかし、図 8 (a) のような駆動電圧波形を用いた場合、現実には得られる滴径は $25\mu\text{m}$ 程度が限界であり、高画質化の要求に十分応えることができないといった問題があった。

【0010】そこで本出願人等は、さらに微小な滴の吐出を可能とする駆動方法として、図 8 (b) に示すような駆動電圧波形を特願平 10-318443 号において開示した。この駆動電圧波形は、吐出直前に圧力発生室 100 側にメニスカス 3 を引き込むための第一の電圧変化過程 1、圧力発生室 100 の体積を圧縮して液柱 4 を形成して吐出を行わせるための第二の電圧変化過程 2、液柱 4 の先端部からインク滴 106 を早期に分離させるための第三の電圧変化過程 5、およびインク滴吐出後に残存する圧力波の残響を抑制するための第四の電圧変化過程 6 によって構成されている。すなわち、図 8 (b) の駆動波形は、インク滴 106 の早期分離のための第三の電圧変化過程 5 および残響抑制を目的とした圧力波制御のための第四の電圧変化過程 6 を図 8 (a) に示されるような従来のメニスカス制御方式に加えたものであり、これにより滴径 $20\mu\text{m}$ 程度のインク滴 106 を安定に吐出させることが可能となった。

【0011】【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述したようなメニスカス制御方法を用いて微小滴吐出を行う場合、最大の課題となるのが吐出安定性の確保である。すなわち、メニスカス制御方法によって吐出されるインク滴の滴径や滴速は、図 9 (b) に示されるような吐出直前のメニスカス 3 の形状に大きく依存するため、安定吐出を実現するためには、メニスカス 3 の形状を常に安定化させる必要がある。また、複数のノズルを有するマルチノズルヘッドの場合には、各ノズルで均一なメニスカス形状が得られるようにする必要がある。しかし実際には、図 9 (b) のようなメニスカス形状を常に安定および均一に形成することは非常に難しく、その結果、吐出されるインク滴の滴径や滴速にばらつきが生じ、出力

される画像の品質が低下するという問題があった。

【0012】メニスカス形状を不安定化および不均一化させる原因の一つとして、直前の吐出によって生じる初期メニスカス形状の変化が挙げられる。以下、そのメカニズムを、図10を参照しながら説明する。

【0013】ノズル101からインク滴106が吐出されると、ノズル101内のインク量が減少するため、メニスカス3は全体として図10(a)のように圧力発生室側に後退する。後退したメニスカス3は、最終的に、インクの表面張力の作用(毛細管力)によって図10

(b)に示すようにノズル開口面に向かって移動し、次の吐出を可能とさせる。こうしたメニスカス3の回復動作を一般にリフィル動作と呼ぶ。

【0014】このリフィル動作において、メニスカス3は図10(a)の状態からすぐに図10(b)に示すような静止状態に戻るわけではなく、ノズル開口面を中心とした減衰振動を行いながら静止状態に徐々に収束していく。つまり、吐出によって後退したメニスカス3は、一旦、図10(b)のようにノズル開口面まで復帰した後、更にオーバーシュートして図10(c)のようにノズル開口面から突出して凸型のメニスカス3を形成し、その後再び後退して図10(d)に示すような凹型のメニスカスを形成するといった動作を繰り返しながら、徐々に図10(b)または図10(f)に示すような静止状態に落ち着く。このリフィル動作時におけるメニスカス振動の振動周期は、インクの表面張力、ノズル101の開口径、および流路系(ノズル、圧力発生室、インク供給路など)のイナータンス等によって異なるが、一般的なインクジェット記録ヘッドでは80~150 μ s程度である。

【0015】さて、ここで問題となるのは、図10(c)のように、メニスカス3のオーバーシュートによって生じる凸型のメニスカス形状である。こうしたメニスカス3のオーバーシュートは、高速記録を狙って設計されたヘッドでは特に顕著となる。また、発生するオーバーシュート量は、直前に吐出したインク滴の滴径や吐出状態(連続吐出数など)によっても微妙に変化する。つまり、直前に吐出が行われた場合には、次の吐出を実行する際の初期メニスカス形状が凸形状となる可能性があり、その際のオーバーシュート量は必ずしも一定とはならない。本出願人等は、数多くの吐出観察実験および流体解析をもとに、こうした凸形状のメニスカス初期状態が、メニスカス制御方法による微小滴吐出の安定性を大きく損なわせる原因となっていることをつきとめた。そのメカニズムを図11を参照しながら説明する。

【0016】初期のメニスカス3が図11(a)のような凸形状であると、メニスカス3を引き込んだ際に、メニスカスの中央部よりも周辺部が速く引き込まれるため、図11(b)に示すようなメニスカス形状となってしまう。その後、図11(c)に示すように動作の送れ

た中央部が部分的にへこみ、そのままの状態では吐出のための圧力がかけられるので、正常な液柱形成が行われず、吐出されるインク滴の滴径や滴速が大きく変化してしまう。なお、図11(d)では、一例として、液柱4が異常に細く形成されて糸状のインク滴が高速に吐出される現象を示したが、初期メニスカス形状が凸形状の場合に必ずこうした現象が生じるとは限らない。例えば、メニスカス形状のわずかな差によって吐出現象が大きく変化し、正常吐出時に比べて滴速が大きく低下する場合なども多い。つまり、初期メニスカス形状が凸形状の場合には、滴径および滴速が広い範囲で変動し、複数のノズルがある場合ではノズル間でのばらつきも拡大してしまう。また、図11に示したような異常吐出現象が発生した場合、ノズル内への気泡巻き込みも生じやすくなり、ノズルの吐出不良の原因になるといった問題もある。

【0017】上記のような問題は、インク滴径を多段階に変化させる滴径変調を実行した場合に特に顕著に現れる。すなわち、滴径変調を行う場合、微小滴の直前に径の大きな滴を吐出する場合がある。メニスカス3のオーバーシュート量は滴径が大きいときほど増加するため、こうした場合には、微小滴を吐出する際の初期メニスカス形状が凸形状になってしまう可能性が高い。そのため、微小滴の滴径および滴速のばらつきが大きくなり、画品質が大きく損なわれてしまう。

【0018】

【発明の目的】本発明は、上記の問題点を解決すべく新たなものであり、その目的は、メニスカス制御方法による微小インク滴の吐出を安定化し、高品質画像の出力を可能とするインクジェット記録ヘッドの駆動方法およびその装置を提供することである。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明のインクジェット記録ヘッドの駆動方法は、圧力発生室内の圧力を変化させる電気機械変換器に駆動電圧を印加して、インクが充填された圧力発生室内に圧力変化を生じさせることによって、前記圧力発生室に連絡したノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドの駆動方法であって、前記駆動電圧の電圧波形が、前記圧力発生室の体積を増加させて前記ノズル開口部に貯留されたインク滴を前記圧力発生室側に引き込むための第一の電圧変化過程と、前記圧力発生室の体積を減少させてインク滴の吐出を行うための第二の電圧変化過程とを有し、前記第一の電圧変化過程の前に、前記ノズル開口部に貯留されたインク滴を前記圧力発生室側にわずかに引き込むための準備動作電圧変化過程を備えていることを特徴とする構成を有する。つまり、第一の電圧変化過程の前に準備動作電圧変化過程を実施することにより、ノズル開口部に貯留されたインク滴(メニスカス)を圧力発生室側にわずかに引き込み、メニスカスの先端がノズル開口面近

傍または圧力発生室側にわずかに引き込まれた状態となるように初期メニスカス形状を安定的に均一化することによって、前述した種々の問題を解消するものである。

【0020】また、ノズル開口部に貯溜されたインク滴（メニスカス）を第一の電圧変化過程の前に圧力発生室側にわずかに引き込むための準備動作電圧変化過程を構成する具体的な方法として、圧力発生室の体積を増加させるための電圧変化過程を有する準備動作電圧変化過程を提案する。この電圧変化過程はメニスカス形状を安定的に均一化することを目的として第一の電圧変化過程の前に実施するものであるから、その電圧変化速度は、メニスカスの不要な振動を防止する必要上、前記第一の電圧変化過程の電圧変化速度よりも小さく設定することが望ましい。

【0021】更に、準備動作電圧変化過程で圧力発生室の体積を増加させるための電圧変化過程の電圧変化時間も、前記と同じ理由により、圧力発生室内に生じる圧力波の固有周期よりも大きく（長めに）設定することが望ましい。

【0022】なお、第一の電圧変化過程の前に圧力発生室の体積を積極的に増加させることによってメニスカスを圧力発生室側にわずかに引き込む構成を適用すると、前回の吐出動作が完了した時点でメニスカスの先端がノズル開口面と一致していた場合、または、ノズル開口面よりも縮退していた場合では、更にその状態よりも圧力発生室側にメニスカスが引き込まれることになるが、本出願人等の実験では、少なくとも、ノズル開口面からのメニスカスの僅かな後退を原因として、滴径・滴速に大きな変動が発生しないことが確認されている。

【0023】また、ノズル開口部に貯溜されたインク滴（メニスカス）を第一の電圧変化過程の前に圧力発生室側にわずかに引き込むための準備動作電圧変化過程を構成する別の具体的な方法として、圧力発生室の体積を減少させるための電圧変化過程と、その後、所定期間だけ電圧を保持する電圧保持過程とを有する準備動作電圧変化過程を提案する。この方法の場合、最初に圧力発生室の体積を減少させることによって一時的にメニスカスがオーバーシュート状態となるが、そのままの状態です所定期間だけ電圧を保持することにより、インクの表面張力によってメニスカスのオーバーシュートの状態が自然に解消され、第一の電圧変化過程の前に圧力発生室の体積を積極的に増加させた場合と同様、第一の電圧変化過程の開始段階におけるメニスカスの形状、すなわち、初期メニスカスの形状を安定的に均一化することができる。

【0024】この場合も、急激なオーバーシュートの発生や振動を防止してメニスカス形状の早期安定化を図る必要上、準備動作電圧変化過程において圧力発生室の体積を減少させるための電圧変化過程の電圧変化時間は、圧力発生室内に生じる圧力波の固有周期よりも大き

く（長めに）設定することが望ましい。

【0025】更に、圧力発生室の体積を減少させるための電圧変化過程に続く電圧保持過程の継続時間は、ノズル開口部に貯溜されたインク滴の振動の固有周期、即ち、メニスカスの減衰振動の固有周期に対し、 $1/3$ 倍から $2/3$ 倍の範囲で設定するのが最適である。これにより、圧力発生室の体積を減少させるための電圧変化過程の最終段階でメニスカスがオーバーシュートぎみに突出していたとしても、その後の減衰振動で生じる振幅の谷の部分、要するに、メニスカスがノズル表面よりも縮退した状態を初期状態として前述した第一の電圧変化過程を開始させることが可能となる。

【0026】また、本発明を装置として適用する場合は、電気機械変換器に印加する駆動電圧を発生させる一以上の波形発生手段に対して、前述の構成、すなわち、第一の電圧変化過程の前に、ノズル開口部に貯溜されたインク滴（メニスカス）を圧力発生室側にわずかに引き込むための準備動作電圧変化過程を含む波形を生成する機能を具備させるようにする。

【0027】電気機械変換器としては、圧電振動子を利用することが可能である。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施形態の幾つかについて詳細に説明する。本発明の一実施形態において、インクジェット記録ヘッドは、図7に示したインクジェット記録ヘッドと同一の基本構造のものを使用した。ヘッドはエッチング等によって穿孔加工された複数の薄板を、接着剤によって積層接合することにより作製した。本実施形態では、厚さ $50 \sim 75 \mu\text{m}$ のステンレス板を熱硬化性樹脂による接着層（厚さ約 $20 \mu\text{m}$ ）を用いて接合した。ヘッドには複数の圧力発生室100（図7の紙面垂直方向に配列）が設けられており、それらは共通インク室102によって連絡されている。共通インク室102は図示しないインクタンクと連絡されており、各圧力発生室100にインクを導く働きをしている。各圧力発生室100は、インク供給路103を介して共通インク室102と連通しており、圧力発生室100内はインクで充填されている。また、各圧力発生室100にはインクを吐出するためのノズル101が設けられている。

【0029】本実施形態では、ノズル101およびインク供給路103は同一形状とし、開口径約 $30 \mu\text{m}$ 、裾径 $65 \mu\text{m}$ 、長さ $75 \mu\text{m}$ のテーパ形状とした。孔開け加工はプレスにより行った。また、ノズルの表面には撥水处理を施した。

【0030】圧力発生室100の底面には振動板104が設けられており、圧力発生室100の外側に設置された電気機械変換器としての圧電アクチュエータ（圧電振動子）105によって圧力発生室の体積を増加または減少させることが可能となっている。本実施形態では、電

鋳（エレクトロフォーミング）で成形したニッケルの薄板を振動板 104 として用い、圧電アクチュエータ 105 には積層型圧電セラミクスを用いた。

【0031】圧電アクチュエータ 105 によって圧力発生室 100 に体積変化を生じさせると、圧力発生室 100 内に圧力波が発生する。この圧力波によってノズル 101 の開口部内に貯溜されているインクが運動し、ノズル 101 から外部へ排出されることによりインク滴 106 が形成される。なお、本実施形態で用いたヘッドの圧力波の固有周期は $14\mu s$ である。ここでいう固有周期とは、圧電アクチュエータ 105 で振動板 104 を振動させて圧力発生室 100 を圧縮または膨張させたとき、振動板 104 の体積変化によって生じる内圧の変化が圧力発生室 100 内部の全体に有効に作用するまでの所要時間のことである。

【0032】次に、図 1 および図 2 を参照して、圧電アクチュエータを駆動するための駆動回路の基本構成について説明する。

【0033】図 1 は、吐出するインク滴の径を固定する場合（滴径変調を行わない場合）の駆動回路の一例である。この例の駆動回路は、駆動波形信号を発生して電力増幅した後、圧電アクチュエータに供給して駆動することにより、記録紙上に文字や画像を印字させるもので、図 1 に示すように、概略において、波形発生回路 107、増幅回路 108、スイッチング回路（トランスファ・ゲート回路）109、および圧電アクチュエータ 105 とから構成されている。波形発生回路 107 は、デジタル・アナログ変換回路と積分回路とから構成され、駆動波形データをアナログ変換した後、積分処理して駆動波形信号を発生する。増幅回路 108 は、波形発生回路 107 から供給された駆動波形信号を電圧増幅及び電流増幅して増幅駆動波形信号として出力する。スイッチング回路 109 は、インク滴吐出のオン・オフ制御を行うもので、画像データをもとに生成された信号に基づいて、駆動波形信号を圧電アクチュエータ 105 に印加する。

【0034】図 2 は、吐出させるインク滴の径を多段階に切り替える場合、すなわち滴径変調を実行する場合における駆動回路の基本構成を示している。この例の駆動回路では、滴径を 3 段階（大滴、中滴、小滴）に変調するために、それぞれの滴径に応じた 3 種類の波形発生回路 107a、107b、107c を具備しており、各波形は増幅回路 108a、108b、108c によって増幅される。記録時には、画像データをもとに、圧電アクチュエータ 105 に印加される駆動波形がスイッチング回路 110 によって切り替えられ、所望滴径のインク滴が吐出される。

【0035】なお、圧電アクチュエータを駆動するための駆動回路は、本実施形態に示した構成のものに限らず、他の構成のものを用いることも可能である。

【0036】図 3 は、図 1 の構成を適用したインクジェット記録ヘッドを用いて、滴径 $20\mu m$ 程度の微小滴を吐出するために使用した駆動波形の一例を示す図である。

【0037】駆動波形は、 $t_g = 30\mu s$ の時間で圧力発生室体積をゆっくりと膨張させる準備動作電圧変化過程 7、 $t_1 = 2\mu s$ の時間で圧力発生室体積を急激に膨張させる第一の電圧変化過程 1、 $t_3 = 2\mu s$ の時間で圧力発生室体積を急激に収縮させる第二の電圧変化過程 2、 $t_5 = 2\mu s$ の時間で圧力発生室体積を急激に膨張させる第三の電圧変化過程 5、および $t_7 = 30\mu s$ の時間で印加電圧をゆっくりと基準電圧 ($V_b = 20V$) に戻すための第四の電圧変化過程 6 によって構成されている。なお、 t_2 は $4\mu s$ 、 t_4 は $0.3\mu s$ 、 t_6 は $8\mu s$ とし、 V_1 は $5V$ 、 V_2 は $15V$ 、 V_3 は $10V$ にそれぞれ設定した。

【0038】準備動作電圧変化過程 7 は、ノズル開口部のメニスカス 3 をゆっくりと圧力発生室 100 側に引き込む作用を有している。そのため、 $t = 0\mu s$ における初期メニスカス形状が凸形状であったとしても、準備動作電圧変化過程 7 によってメニスカス 3 はノズル 101 の内部に引き込まれるため、凸形状のメニスカス 3 が及ぼす悪影響を防止することができる。つまり、第一の電圧変化過程 1 に入る直前の $t = t_g$ の時点では、メニスカス 3 は必ずノズル 101 の開口面のごく近傍、またはノズル 101 の内部にわずかに引き込まれた状態となる。本実施形態の駆動波形では、 $t = t_g$ におけるメニスカス中央部の位置 x は、 $+1 \sim -5\mu m$ の範囲となることが確認された（メニスカス位置を示す座標系は図 9 (b) を参照）。

【0039】また、準備動作電圧変化過程 7 の電圧変化時間 ($t_g = 30\mu s$) は、圧力波の固有周期（この実施形態では $14\mu s$ ）よりも十分に長く設定されているため、図 3 の点 A では吐出に影響を及ぼすような大きな圧力波は発生せず、また、メニスカスの引き込みを安定に実行することができる。

【0040】第一の電圧変化過程 1 は、メニスカスを急激にノズル内部に引き込む作用を有している。第一の電圧変化過程 1 の電圧変化時間 ($t_1 = 2\mu s$) は、圧力波の固有周期（この実施形態では $14\mu s$ ）よりも小さく設定されているため、図 3 の点 B では大きな圧力波が発生し、この圧力波の作用によってメニスカス 3 はノズル 101 の内部に急激に引き込まれ、凹形状のメニスカス 3 が形成される。本実施形態の駆動波形では、 $t = t_g + t_1 + t_2$ の時点において、メニスカス 3 の中央部 x は $-50 \sim -45\mu m$ 程度の位置まで引き込まれることが確認された（メニスカス位置を示す座標系は図 9 (b) を参照）。

【0041】第二の電圧変化プロセス 2 では、圧力発生室 100 が急激に圧縮される。これにより、凹形状のメ

ニスカス3の中央部には図9(c)に示されるような細い液柱4が形成される。その直後、第三の電圧変化過程5によってメニスカス3が急速に引き戻されるため、液柱4の先端が早期に分離し、図9(d)に示されるような微小のインク滴106の吐出が行われる。本実施形態では、開口径 $26\mu\text{m}$ のノズル101から径 $19\mu\text{m}$ のインク滴106が、滴速 6m/s で吐出されることが観察された。

【0042】第四の電圧変化過程6は、圧力発生室100の体積を初期状態に戻す作用を有している。ここでの電圧変化時間($t_7=30\mu\text{s}$)は、圧力波の固有周期(この実施形態では $14\mu\text{s}$)に比べて十分長く設定されているため、次の吐出に影響を及ぼすような圧力波は発生しない。

【0043】図6は、図2の構成を適用したインクジェット記録ヘッドに対して図3のような駆動波形を適用した場合の吐出安定性を実験的に評価した結果である。このうち、図6(a)に示したデータは、本実施形態の駆動波形による滴径 $19\mu\text{m}$ の小滴と、後述する大滴用駆動波形(図5(c))による滴径 $40\mu\text{m}$ の大滴を交互に吐出させ、吐出間隔(吐出周波数)を変化させながら小滴の滴径を測定した結果であり、また、図6(b)に示したデータは、吐出間隔(吐出周波数)と滴速との関係を示した図である。また、比較対象として、準備動作電圧変化過程7を実施しない従来波形(図8(b))を用いた場合の観測結果も各々の図の中に破線で示した。

【0044】従来波形を用いた場合、図6(a)および図6(b)の破線で示されるように、吐出周波数が $4\sim 6\text{kHz}$ の範囲で滴径・滴速が大きく変化することが確認された(滴径ばらつき $\pm 3\mu\text{m}$ 、滴速ばらつき $\pm 1.8\text{m/s}$)。これは、この吐出周波数領域では、初期のメニスカス3が凸形状となり、小滴吐出の際に図11に示したような異常吐出現象が生じたためと考えられる。メニスカス3の状態をレーザードップラー計により観測した結果、 $4\sim 6\text{kHz}$ の駆動周波数範囲では、小滴吐出の直前においてメニスカス3が $8\sim 15\mu\text{m}$ の範囲でオーバーシュートしていることが確認された。

【0045】一方、本実施形態の駆動波形を用いた場合、図6(a)の実線で示されるように、 $0.1\sim 10\text{kHz}$ の広い周波数範囲で、滴径の変化は $\pm 0.5\mu\text{m}$ 、また、図6(b)に示されるように、滴速の変化は $\pm 0.3\text{m/s}$ の範囲に収まることが確認された。これは、準備動作電圧変化過程7によってメニスカス3を圧力発生室100側に引き込むことで、第一の電圧変化過程1の電圧印加の開始時において初期メニスカス状態が凸形状となることが防止されたことによって生じる効果であると考えられる。

【0046】以上のように、本実施形態の駆動方法を用いれば、広い周波数範囲で安定した微小滴吐出を実行で

きることが確認された。

【0047】また、図4は、同じく滴径 $20\mu\text{m}$ 程度の微小滴を吐出するために使用した駆動波形の別の一例を示す図である。

【0048】この駆動波形は、準備動作電圧変化過程7を有し、この準備動作電圧変化過程7は、 $t_g=30\mu\text{s}$ の時間で圧力発生室100の体積をゆっくりと圧縮(減少)させるための電圧変化過程7aと、その後、所定期間 $t_g=50\mu\text{s}$ だけ電圧を保持する電圧保持過程7bとによって形成されている。更に、駆動波形は、前述した実施形態と同様、全体として、 $t_1=2\mu\text{s}$ の時間で圧力発生室100の体積を急激に膨張させるための第一の電圧変化過程1、 $t_3=2\mu\text{s}$ の時間で圧力発生室100の体積を急激に収縮させる第二の電圧変化過程2、 $t_5=2\mu\text{s}$ の時間で圧力発生室100の体積を急激に膨張させる第三の電圧変化過程5、および $t_7=30\mu\text{s}$ の時間で印加電圧をゆっくりと基準電圧($V_b=15\text{V}$)に戻すための第四の電圧変化過程6を備える。なお、 t_2 は $4\mu\text{s}$ 、 t_4 は $0.3\mu\text{s}$ 、 t_6 は $8\mu\text{s}$ とし、 V_1 は 5V 、 V_2 は 15V 、 V_3 は 8V にそれぞれ設定した。

【0049】準備動作電圧変化過程7の一部を構成する電圧変化過程7aは、メニスカス3をゆっくりとノズル外部に向かって押し出す作用を有している。そのため、初期のメニスカス形状がどのような形状であっても、メニスカス3は一旦、強制的にオーバーシュートした状態にされる。そして、電圧保持過程7bの間に、メニスカス3はインクの表面張力の作用によって圧力発生室100側へと変位し、点Cの時点($t=t_g+t_g$)では、メニスカス3はノズル101の開口面のごく近傍、またはノズル101の内部にわずかに引き込まれた地点に位置することになる。つまり、表面張力によるメニスカス3の振動を強制的に励起させることにより、初期のメニスカス形状にかかわらず、第一の電圧変化過程1が印加される時点(点C)において、メニスカス形状が凸になることを防ぐことができる。本実施例の駆動波形では、 $t=t_g+t_g$ の時点において、メニスカス3の中央部の位置xは $+2\sim -4\mu\text{m}$ の範囲となることを確認された(メニスカス位置を示す座標系は図9(b)を参照)。

【0050】また、準備動作電圧変化過程7の前半を形成する電圧変化過程7aの電圧変化時間($t_g=30\mu\text{s}$)は、圧力波の固有周期(この実施形態では $14\mu\text{s}$)よりも十分長く設定されているため、図4の点Aおよび点Bでは吐出に影響を及ぼすような大きな圧力波は発生しない。また、点Cの時点でのメニスカス位置がノズル開口面のごく近傍、またはノズル内部にわずかに引き込まれた地点とするためには、準備動作電圧変化過程7の後半を形成する電圧保持過程7bの継続時間 t_g を $(1/3)T_m \leq t_g \leq (2/3)T_m$ の条件を満足

するように設定することが望ましい(T_m はインクの表面張力によって生じるメニスカス振動の固有周期)。

【0051】第一の電圧変化過程1、第二の電圧変化過程2、第三の電圧変化過程5、および第四の電圧変化過程6の作用は、それぞれ先に述べた図3の実施形態の第一の電圧変化過程1、第二の電圧変化過程2、第三の電圧変化過程5、および第四の電圧変化6の作用と同様である。

【0052】図4に示した本実施形態の駆動波形を用いて吐出実験を行ったところ、開口径 $26\mu\text{m}$ のノズルから径 $20\mu\text{m}$ の滴が、滴速 6.3m/s で吐出されることが観察された。また、小滴と大滴を混在させた連続吐出実験においても、従来波形を用いた場合に比べて吐出安定性が向上し、吐出周波数 $1\sim 7\text{kHz}$ の範囲内での滴径ばらつきは $\pm 0.5\mu\text{m}$ 、滴速ばらつきは $\pm 0.3\text{m/s}$ であることが確認された。

【0053】ただし、本実施形態の駆動波形は、電圧保持過程7aを必要とするため、波形全体の長さが増加し、そのため高周波吐出には不利となる。すなわち、図4の駆動波形は全長が $128.3\mu\text{s}$ であるため、 7.8kHz 以上の周波数で吐出を行うことは不可能である。

【0054】このように、図4の駆動波形は高周波駆動に適さないという欠点を有するが、その反面、基準電圧(V_b)を低く設定できるため、滴径変調を行う際において滴径変調範囲を拡大できるという利点を有する。

【0055】すなわち、先に述べた図3の実施形態の駆動波形では、基準電圧 V_b を、準備動作電圧変化過程7に必要とされる電圧変化量 V_1 と、第一の電圧変化過程1に必要とされる電圧変化量 V_2 の和(V_1+V_2)よりも大きく設定する必要があるが、 V_b が高くなると得られない。大滴の滴径は、最大許容印加電圧と基準電圧の差によってほぼ決まるため、基準電圧が高くなると得られる大滴径が減少し、滴径変調範囲が狭くなってしまふ。これに対し、図4の駆動波形では、基準電圧 V_b は $V_b=V_2-V_1$ となるため、図3の駆動波形に比べて基準電圧 V_b を小さく設定することが可能となる。その結果、得られる大滴径が増加(最大許容印加電圧と基準電圧の差が増加)し、滴径変調範囲を拡大することが可能となる。

【0056】また、図5は、本発明の更に別の実施形態を示す図であり、吐出するインク滴を、小滴、中滴、大滴の3種類の大きさに変調するのに使用した駆動波形である。

【0057】図5(a)は小滴吐出用の駆動波形である。図3で示した駆動波形と同一形状であり、滴径 $19\mu\text{m}$ の滴を滴速 6m/s で吐出する。準備動作電圧変化過程7の作用により、吐出周波数による滴径変動量は $\pm 0.5\mu\text{m}$ 、滴速変動量は $\pm 0.6\text{m/s}$ 以内に収まることが確認された。

【0058】図5(b)は中滴吐出用の駆動波形である。中滴用駆動波形もメニスカス3を安定化する制御方法を利用してインク滴の微小化を行うため、準備動作電圧変化過程7'を有している。駆動波形は、 $t_{g'}=30\mu\text{s}$ の時間で圧力発生室100の体積をゆっくりと膨張させる準備動作電圧変化過程7'、 $t_{1'}=2\mu\text{s}$ の時間で圧力発生室100の体積を急激に膨張させる第一の電圧変化過程1'、 $t_{3'}=2\mu\text{s}$ の時間で圧力発生室体積を急激に圧縮させる第二の電圧変化過程2'、および $t_{7'}=30\mu\text{s}$ の時間で印加電圧をゆっくりと基準電圧($V_b=20\text{V}$)に戻すための電圧変化6'によって構成されている($t_{2'}=4\mu\text{s}$ 、 $t_{6'}=8\mu\text{s}$ 、 $V_{1'}=5\text{V}$ 、 $V_{2'}=15\text{V}$ 、 $V_{3'}=18\text{V}$)。

【0059】図5(a)の小滴用駆動波形と比較すると、第二の電圧変化過程2'の直後に圧力発生室100を膨張させない(第三の電圧変化過程がない)ため、インクの排出量が多くなり、小滴に比べて滴径が大きくなる。本実施形態の中滴用駆動波形では、滴径 $28\mu\text{m}$ のインク滴が滴速 6m/s で吐出された。準備動作電圧変化過程7'は、小滴用駆動波形の場合と同様、ノズル開口部のメニスカスをゆっくりと圧力発生室100側に引き込む作用を有している。そのため、メニスカス3のオーバーシュートが大きくメニスカス3の初期状態が凸形状であったとしても、準備動作電圧変化過程7'によってメニスカス3はノズル内部に引き込まれるため、凸形状のメニスカス3が及ぼす悪影響を防止することができる。本実施形態では、準備動作電圧変化過程7'が終了した時($t=t_{g'}$)におけるメニスカス位置xは、 $+1\sim 5\mu\text{m}$ の範囲となることが確認された(メニスカス位置を示す座標系は図9(b)を参照)。その結果、滴径や滴速の変動は非常に小さくなり、 $0.1\sim 10\text{kHz}$ の吐出周波数範囲で、中滴の滴径変動量は $\pm 0.5\mu\text{m}$ 、滴速変動量は $\pm 0.6\text{m/s}$ 以内に収まることが確認された。

【0060】一方、図5(c)に示す大滴用駆動波形は、メニスカス3を安定化する制御方法を行わないため、準備動作電圧変化過程7または7'に相当する制御プロセスは有していない。すなわち、吐出直前におけるメニスカス3の引き込みは行わず、駆動波形は、大きな立ち上げ時間($t_{3''}=10\mu\text{s}$)で圧力発生室100を圧縮する第二の電圧変化過程2''と、印加電圧をゆっくりと基準電圧 V_b に戻すための第四の電圧変化過程6''によって構成されている($V_{3''}=20\text{V}$ 、 $t_{7''}=30\mu\text{s}$)。本実施形態の大滴用駆動波形では、滴径 $28\mu\text{m}$ の滴が、滴速 6m/s で吐出された。吐出周波数による滴径・滴速の変動量は、それぞれ $\pm 0.9\mu\text{m}$ 、 $\pm 0.5\text{m/s}$ 以内であった。

【0061】図5(a)、(b)、(c)に示すような小滴用、中滴用、および大滴用の駆動波形を、図2に示

すように、それぞれ別個の波形発生回路(107a、107b、107c)により発生させ、画像データに基づいて圧電アクチュエータ105に印加する波形を切り替えることにより、階調記録を実行した。その結果、小滴、中滴、および大滴を、0.1~10kHzの駆動周波数で安定に吐出させることができ、その際、小滴および中滴の滴径変動量は $\pm 0.5\mu\text{m}$ 以内、滴速変動量は $\pm 0.5\text{m/s}$ 以内に収めることができた。

【0062】なお、本発明を用いて滴径変調を実行する際の駆動波形は、図5に示されるような駆動波形の組み合わせに限定されるものではない。たとえば、大滴用駆動波形においても、吐出直前にメニスカスをわずかに凹形状にする準備動作電圧変化過程を加えてもよい。また、本実施形態の中滴用駆動波形では、第二の電圧変化過程2'の直後で圧力発生室100を膨張させないことによって滴径を小滴より増加させたが、第二の電圧変化過程の電圧変化時間($t_{g'}$)を大きく設定したり、メニスカス安定化のための制御方法を使用しないこと(例えば図5(b)の準備動作電圧変化過程7'を非実行とすること)、などによっても滴径を増加させることが可能である。

【0063】また、図5に示した実施形態では、滴径変調の段階数を大・中・小の3段階としたが、滴径の段階数を3段階以上、もしくは3段階以下に設定した場合においても、本発明が適用可能なことは明白である。

【0064】上述したように、滴径変調による階調記録を実行する場合においても、メニスカスの安定化のための制御プロセスを使用する小滴・中滴用の駆動波形に準備動作電圧変化過程を含めることにより、滴径および滴速に高い安定性が得られ、画像品質を向上させることが可能となる。

【0065】以上、各実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態の構成に限定されるものではない。例えば、図3、図4および図5の実施形態では、第一の電圧変化過程と第二の電圧変化過程との間に電圧が平坦となる部分を設けたが、この平坦部を除去したような駆動波形とすることも可能である。

【0066】また、前述した各実施形態では、圧電アクチュエータへの印加電圧が常に正極性となるように、必要に応じてバイアス電圧(基準電圧) V_b を設定したが、圧電アクチュエータに負極性の電圧を印加しても問題ない場合には、バイアス電圧 V_b を0Vなど、他の電圧に設定してもかまわない。

【0067】さらに、圧電アクチュエータとしては縦振動モードの積層圧電アクチュエータを用いたが、縦振動モードのアクチュエータ、単板型の圧電アクチュエータ、撓み振動モードの圧電アクチュエータなど、他の形態のアクチュエータを使用してもかまわない。

【0068】また、上の実施例では、図7に示すようなカイザー型インクジェット記録ヘッドを用いたが、圧電

アクチュエータに設けた溝を圧力発生室とする記録ヘッドなど、圧力発生室の圧力を制御することによってインクの吐出動作を行う様々な構造のインクジェット記録ヘッドに対して、本発明は同様に適用することが可能である。

【0069】さらに、圧電アクチュエータ以外の電気機械変換器、たとえば静電力や磁力を利用したアクチュエータを利用したインクジェット記録ヘッドに対しても、本発明を適用することが可能である。

10 【0070】以上述べたように、本発明のインクジェット記録ヘッドの駆動方法では、適正なインク滴吐出動作を行うために従来から必要とされていた第一の電圧変化過程を開始する更にそれ以前の段階で、第一の電圧変化過程およびそれ以降のメニスカスの挙動に多大な影響を与えるメニスカスの初期形状不良をなくすため、ゆっくりとした速度でメニスカスを圧力発生室側に引き込み、メニスカスの初期形状を適正な形状、すなわち、平坦または僅かな凹形状とするようにしているので、第一の電圧変化過程だけでは除去しきれなかった様々な不安定要因、例えば、図11(a)のようなメニスカスの初期形状の不良に伴う異常吐出現象等についても高い確率で防止することができ、滴径・滴速に高い安定性を確保できると共に、異常吐出に伴うノズル内への気泡巻き込み等も未然に防止することが可能となる。

【0071】

【発明の効果】本発明は、インクの吐出動作の安定化に必要なとされる第一の電圧変化過程を実施する前の段階で準備動作電圧変化過程を実施することにより、第一の電圧変化過程開始時におけるノズル開口部のインク滴
30 (メニスカス)の状態を最適化するようにしたので、メニスカスの初期状態の異常によって生じるインクの滴径および滴速の変動等の吐出動作の異常を抑制することができ、その結果、出力画像の品質を大幅に向上することができる。

【0072】また、吐出動作の異常発生の抑制に伴って吐出異常に起因する二次的な異常動作、例えば、ノズル内への気泡の巻き込み等も減少するので、装置の信頼性や安定性を一層向上することができる。

40 【0073】また、前回の吐出動作が完了した段階でメニスカスが凸形状となっていたような場合であっても、その形状を適正な状態に修正して次の吐出動作を開始することができるので、インク滴の吐出動作の周期を長くすることによってメニスカス形状の安定化を図るといった必要性は薄れ、従来のものに比べ、より高い周波数でのインク滴吐出を実現することができるようになり、高速印字や高速描画が容易となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】吐出するインク滴の径を固定した場合の駆動回路の一例を示すブロック図である。

50 【図2】吐出するインク滴の径を多段階に切り替える場

合の駆動回路の一例を示すブロック図である。

【図3】滴径 $20\mu\text{m}$ 程度の微小滴を吐出するために使用した駆動波形の一例を示す図である。

【図4】滴径 $20\mu\text{m}$ 程度の微小滴を吐出するために使用した別の駆動波形の例を示す図である。

【図5】小滴、中滴、大滴の3種類のインク滴を吐出するために使用した駆動波形の例を示す図で、図5(a)は小滴吐出用の駆動波形、図5(b)は中滴吐出用の駆動波形、図5(c)は大滴吐出用の駆動波形である。

【図6】本発明を適用した一実施形態の駆動波形と従来技術による駆動波形との間の効果の相違について示す図で、図6(a)は吐出周波数と滴径の関係について示す図、図6(b)は吐出周波数と滴速の関係について示す図である。

【図7】従来技術および本発明に適用されるインクジェット記録ヘッドの基本構造を示す断面図である。

【図8】インクジェット記録ヘッドの駆動波形を例示する図で、図8(a)は従来の通常のインクジェット記録ヘッドで採用されていた駆動電圧波形の一例を示す図、また、図8(b)はその改良例を示す図である。

【図9】駆動電圧波形を印加した際のメニスカスの動きを模式的に表わした図であり、図9(a)は基準電圧を印加したままの初期状態の形状、図9(b)は第一の電圧変化過程の電圧を印加した吐出直前の状態、図9(c)は第二の電圧変化過程の電圧を印加した吐出開始時の状態、図9(d)は吐出が完了してインク滴が液柱から分離した状態を示す図である。

【図10】メニスカス形状の不安定化の要因となる振動現象について示す概念図で、図10(a)はインクの吐出直後の状態、図10(b)および図10(f)はノズル開口面までメニスカスが復帰した状態、図10(c)はオーバーシュートによってメニスカスが突出した状

態、図10(d)は振動の減衰の過程でメニスカスが再び凹型になった状態、図10(e)は振動がある程度減衰した段階においてメニスカスがオーバーシュートした状態を示す図である。

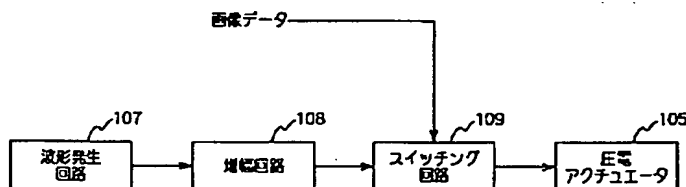
【図11】メニスカス形状の不安定化に伴って生じる異常な吐出動作の流れを一例で示す概念図で、図11

(a)は基準電圧を印加したままの初期状態を示す図、図11(b)は第一の電圧変化過程の電圧を印加した吐出直前の状態を示す図、図11(c)は第二の電圧変化過程の電圧を印加した吐出開始時の状態を示す図、図11(d)は吐出が完了してインク滴が液柱から分離した状態を示す図である。

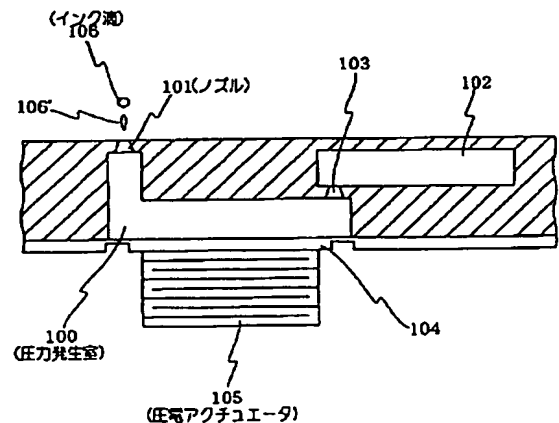
【符号の説明】

- 1 第一の電圧変化過程
- 1' 第一の電圧変化過程
- 2 第二の電圧変化過程
- 2' 第二の電圧変化過程
- 2'' 第二の電圧変化過程
- 3 メニスカス
- 4 液柱
- 7 準備動作電圧変化過程
- 7' 準備動作電圧変化過程
- 7a 電圧変化過程(準備動作電圧変化過程の一部)
- 7b 電圧保持過程(準備動作電圧変化過程の一部)
- 100 圧力発生室
- 101 ノズル
- 102 共通インク室
- 103 インク供給路
- 104 振動板
- 105 圧電アクチュエータ(電気機械変換器)
- 106 インク滴

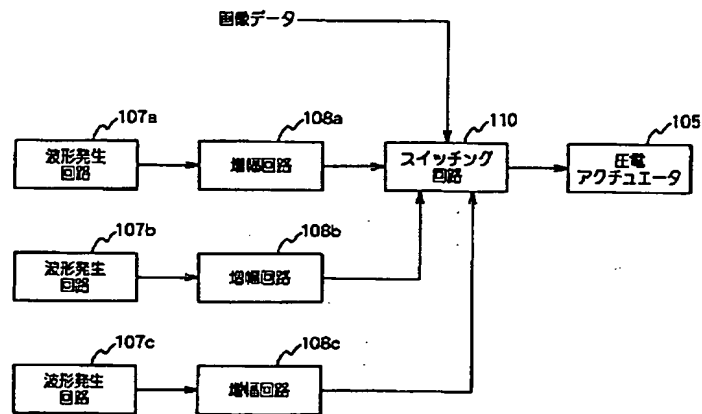
【図1】



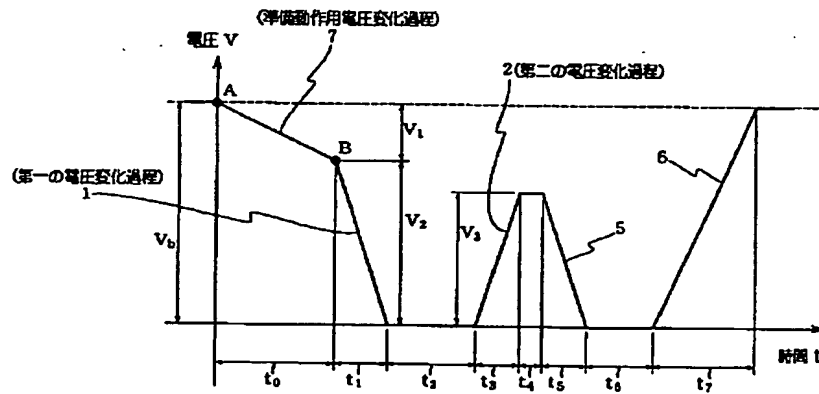
【図7】



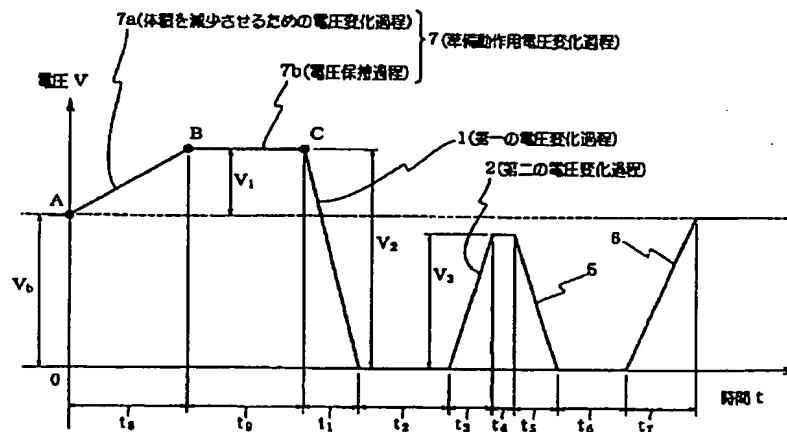
【図2】



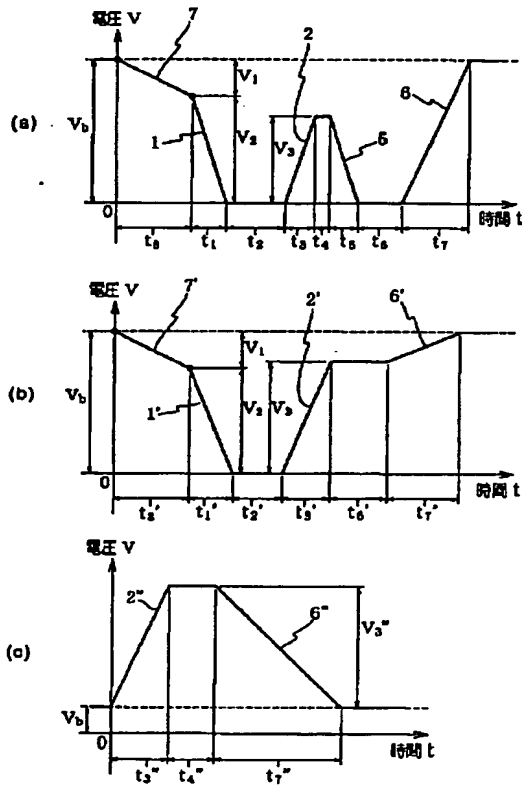
【図3】



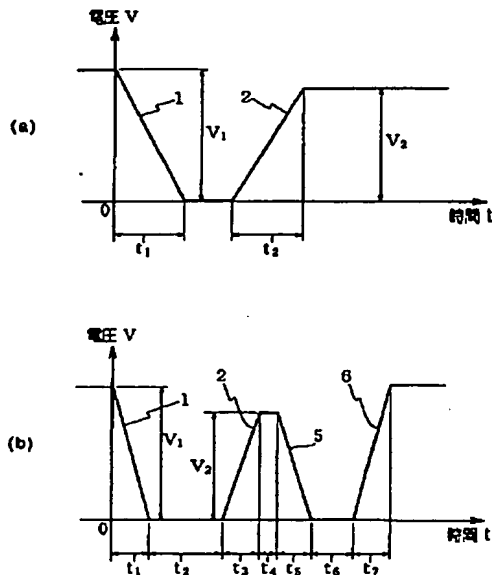
【図4】



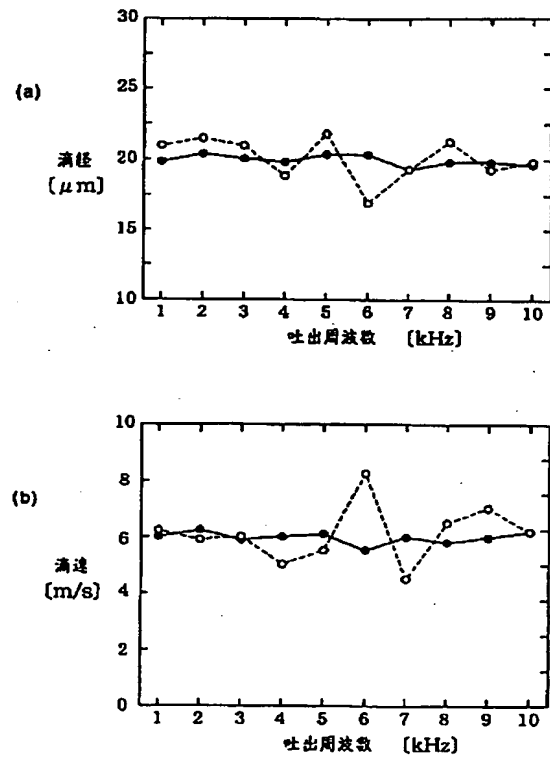
【図5】



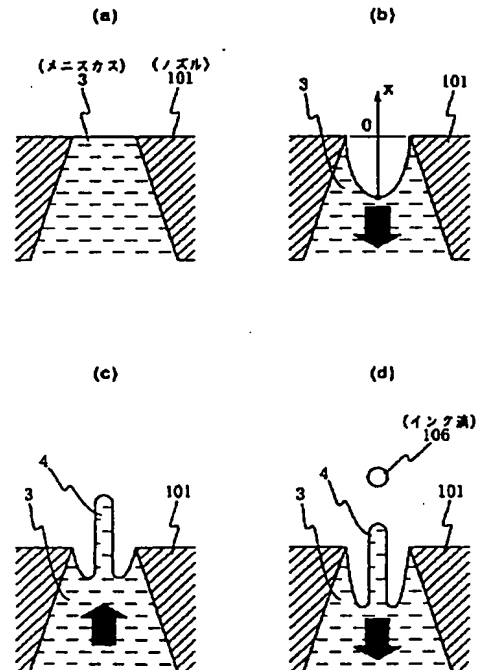
【図8】



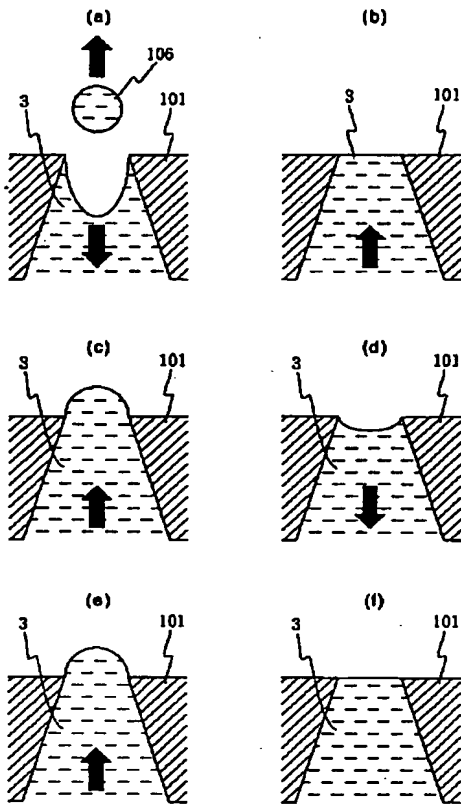
【図6】



【図9】



【図 10】



【図 11】

